

BEST AVAILABLE COPY

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-078208

(43)Date of publication of application : 14.03.2003

(51)Int.Cl.

H01S 5/22

H01S 5/343

(21)Application number : 2001-263620

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 31.08.2001

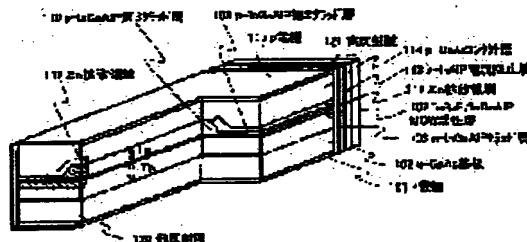
(72)Inventor : KURONAGA KOICHI  
TANAKA AKIRA  
ITO YOSHIYUKI  
WATANABE MINORU  
OKUDA HAJIME

## (54) SEMICONDUCTOR LASER DEVICE AND ITS MANUFACTURING METHOD

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor laser device which is superior in a spreading angle of light, kink characteristics, and temperature characteristics, and to provide its manufacturing method.

SOLUTION: A semiconductor laser device is equipped with a first conductivity-type clad layer (103) having a certain refractive index constant in the direction of thickness; an active layer (107) formed thereon; a second conductivity-type clad layers (108 and 110) which are formed thereon, have refractive indexes constant in the direction of thickness, are provided with a ridge that is located thereon, and extends in parallel with the direction of laser resonance; and a current block layer (113) provided on each side of the ridge. A current constricted by the current block layer (113) is injected into the active layer through the intermediary of the top surface of the ridge, the first conductivity-type clad layer (103) and the second conductivity-type clad layers (108 and 110) are formed of semiconductor of nearly the same composition, and the first conductivity-type clad layer (103) is set larger in thickness than the second conductivity-type clad layers containing the ridge.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 09.03.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than abandonment the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application] 24.03.2005

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2003-78208  
(P2003-78208A)

(43)公開日 平成15年3月14日(2003.3.14)

(51) Int.Cl.7

**識別記号**

FI

テーマコード(参考)

H O 1 S 5/22  
5/343

H O I S 5/22  
5/343

**5 F 0 7 3**

審査請求 未請求 請求項の数12 OL (全 16 頁)

(21)出願番号 特願2001-263620(P2001-263620)

(22)出願日 平成13年8月31日(2001.8.31)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 發明者 玄永 康一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝マイクロエレクトロニクスセンター内

(74) 代理人 100088487

弁理士 松山 允之 (外1名)

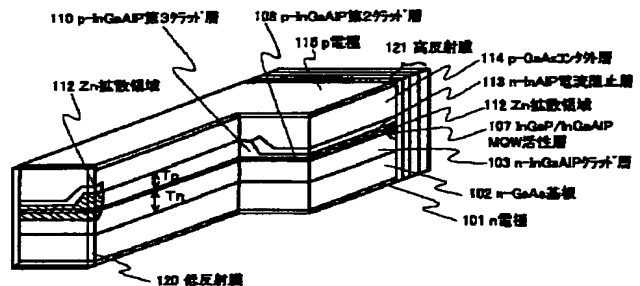
**最終頁に続く**

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ装置及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 素子抵抗を増加させることなく、光拡がり角度やキンク特性、温度特性に優れた半導体レーザ装置及びその製造方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 層厚方向に一定の屈折率を有する第1導電型のクラッド層（103）と、その上に設けられた活性層（107）と、その上に設けられ、層厚方向に一定の屈折率を有し、その上部にレーザ共振方向に対して平行に延設されたリッジを有する、第2導電型のクラッド層（108、110）と、前記リッジの両脇に設けられた電流阻止層（113）と、を備え、前記電流阻止層により狭窄された電流が前記リッジの上面を介して前記活性層に注入され、前記第1導電型及び第2導電型のクラッド層は、略同一の組成の半導体からなり、前記第1導電型のクラッド層の層厚は、前記第2導電型のクラッド層の前記リッジを含んだ層厚よりも大きい半導体レーザ装置を提供する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】層厚方向に一定の屈折率を有する第1導電型のクラッド層と、

前記第1導電型のクラッド層の上に設けられた活性層と、

前記活性層の上に設けられ、層厚方向に一定の屈折率を有し、その上部にレーザ共振方向に対して平行に延設されたリッジを有する、第2導電型のクラッド層と、

前記リッジの両脇に設けられた電流阻止層と、

を備え、

前記電流阻止層により狭窄された電流が前記リッジの上面を介して前記活性層に注入され、

前記第1導電型及び第2導電型のクラッド層は、略同一の組成の半導体からなり、

前記第1導電型のクラッド層の層厚は、前記第2導電型のクラッド層の前記リッジを含んだ層厚よりも大きいことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項2】前記電流阻止層は、前記クラッド層よりもバンドギャップが広く且つ前記クラッド層よりも屈折率が小さい半導体からなることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ装置。

【請求項3】前記第2導電型のクラッド層は、前記リッジの下に設けられた第2のクラッド層と、前記リッジを構成する第3のクラッド層と、からなり、

前記第2のクラッド層と前記第3のクラッド層との間に、これらクラッド層とは異なる組成を有する半導体層が挿入されてなることを特徴とする請求項1または2に記載の半導体レーザ装置。

【請求項4】前記電流阻止層と前記リッジの上面の上を覆うように設けられた第2導電型の埋込クラッド層をさらに備え、

前記埋込クラッド層は、前記第1導電型のクラッド層と略同一の組成の半導体からなることを特徴とする請求項1～3のいずれか1つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項5】前記活性層は、少なくとも2種類の半導体層を積層した積層構造を有し、

レーザ光が放出される端面付近に亜鉛(Zn)が選択的に導入され前記活性層の前記積層構造が前記端面付近において無秩序化されてなることを特徴とする請求項1～4のいずれか1つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項6】前記リッジは、反応律速性のエッチングにより形成されてなることを特徴とする請求項1～5のいずれか1つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項7】前記第1導電型及び第2導電型のクラッド層は、それぞれInGaAlPからなり、

前記第1導電型のクラッド層の層厚と、前記第2導電型のクラッド層の前記リッジを含む層厚と、の合計は、

2.5 $\mu$ m以上3.5 $\mu$ m以下であり、

前記第2導電型のクラッド層の前記リッジを含まない層厚は、0.2 $\mu$ m以上0.3 $\mu$ m以下であることを特徴

とする請求項1～6のいずれか1つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項8】前記レーザ共振方向に対して垂直な方向にみた前記リッジの底部の幅は、2.5 $\mu$ m以上3.5 $\mu$ m以下であることを特徴とする請求項7記載の半導体レーザ装置。

【請求項9】前記活性層は、井戸層と障壁層とを交互に積層した多重量子井戸構造を有し、

前記多重量子井戸構造における前記井戸層の層数は、3層以上5層以下であり、

それぞれの前記井戸層の層厚は、4nm以上7nm以下であり、0%以上2%以下の圧縮歪みが印加されてなることを特徴とする請求項7または8に記載の半導体レーザ装置。

【請求項10】前記第1導電型及び第2導電型のクラッド層は、それぞれAlGaAsからなり、

前記第1導電型のクラッド層の層厚と、前記第2導電型のクラッド層の前記リッジを含む層厚と、の合計は、4 $\mu$ m以上6 $\mu$ m以下であり、

前記リッジの側面の傾斜角は、80度以上であり、

前記レーザ共振方向に対して垂直な方向にみた前記リッジの底部の幅は、2 $\mu$ m以上3 $\mu$ m以下であることを特徴とする請求項1～5のいずれか1つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項11】レーザ光の出射側端面に、前記レーザ光に対して15%以下の反射率を有する反射膜が設けられ、

前記出射側端面とは反対側の端面に、前記レーザ光に対して90%以上の反射率を有する反射膜が設けられたことを特徴とする請求項1～10のいずれか1つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項12】層厚方向に一定の屈率を有する第1導電型の第1のクラッド層を形成する工程と、

前記第1導電型のクラッド層の上に活性層を形成する工程と、

前記活性層の上に、層厚方向に一定の屈折率を有し前記第1のクラッド層と略同一の組成の半導体からなる第2導電型の第2のクラッド層を形成する工程と、

前記第2のクラッド層の上に、前記第2のクラッド層とは異なる組成の半導体からなるエッチングストップ層を形成する工程と、

前記エッチングストップ層の上に、層厚方向に一定の屈折率を有し前記第2のクラッド層と略同一の組成の第2導電型の半導体からなり、その層厚と前記第2のクラッド層の層厚とを合計した層厚が、前記第1のクラッド層の層厚よりも小さくなるように、第3のクラッド層を形成する工程と、

前記第3のクラッド層の上にストライプ状のマスクを形成する工程と、

前記マスクにより覆われていない前記第3のクラッド層

を反応律速性のウェットエッチング液によりエッチングして、リッジを形成する工程と、前記リッジの両脇に電流阻止層を形成する工程と、を備えたことを特徴とする半導体レーザ装置の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザ装置及びその製造方法に関し、特に光ディスクドライブのピックアップなどに用いて好適な高光出力の半導体レーザ装置及びその製造方法に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】近年、DVD (Digital Versatile Disk) やCD (Compact Disk) を始めとする各種の光ディスクが広く利用されるようになった。特に、書込みができる光ディスクは、急激に需要が伸びている。それらのうち、波長780nm帯のAlGaAs系半導体レーザを用いるCD-R (Recordable) / RW (ReWritable)、波長650nm帯のInGaAlP系の半導体レーザを用いるDVD-R、DVD-RW、DVD-RAM (Random Access Memory) に用いられる光ピックアップは、書込速度を増大させるために、より高い光出力の半導体レーザを必要としており、レーザの光出力増大の要求は日に日に高まっている。

【0003】図11は、従来のInGaAlP系のリッジ型実屈折率導波型半導体レーザを表す模式図である。すなわち、同図は、レーザの光放出端面に対して平行な方向に切断した断面構造を表す。その構成を製造手順に沿って説明すると以下の如くである。

【0004】まず、第1の導電型であるn型のGaAs基板402の上に、n型InGaAlPクラッド層403、InGaAlP系MQW (Multiple Quantum Well) 活性層407、第2の導電型であるp型InGaAlPクラッド層408を積層する。

【0005】次に、pクラッド層408の一部ストライプ以外の部分を厚さhだけ残してエッチング除去し、凸状のリッジ型形状を形成する。そして、pクラッド層リッジの両脇と厚さhの平坦部の上に、第1の導電型であるn型のInAlP層409を選択成長し、電流阻止層とする。さらに電流阻止層409とリッジ上部を覆うようにして第2の導電型であるp型GaAs層410を形成し、リッジ型導波路構造を構成する。

【0006】このようなn型リッジ型構造の半導体レーザでは、レーザ光が発生する活性層407やクラッド層403、408を作製するための結晶成長を平坦な状態で行なってからリッジを形成するため、良好な結晶性が得られ、特性の再現性、信頼性に優れているという特長を有する。

【0007】また、電流阻止層409を構成するInAlPは、活性層407を構成するInGaP/InGa

AlP系MQW層よりバンドギャップが大きいので、レーザの発振波長に対し透明であり、かつ、クラッド層403、408を構成するInGaAlPよりも屈折率が小さい化合物半導体材料である。このため、活性層に流れ込む電流を狭窄するだけでなく、GaAsを用いた電流阻止層とは異なり、活性層を導波するレーザ光のクラッド層へのしみだし光を吸収することなしに、実屈折率の差によってリッジ下の活性層部へ接合面に対して水平な方向に光を閉じ込める、いわゆる「実屈折率導波型構造」の半導体レーザを得ることができる。

【0008】実屈折率型の半導体レーザにおいては、低い値、高効率の電流-光出力特性が得られ、少ない電流で高い光出力が得られる。電流阻止層としてn型GaAsを用いた「複素屈折率導波型」のリッジ型レーザの場合、高出力時に大電流が流れるため、ジュール熱によって光出力が低下するという、いわゆる熱飽和現象が発生し、光出力向上の妨げとなっていた。

【0009】これに対して、実屈折率導波型レーザでは熱飽和が発生しにくく、複素屈折率導波型レーザに比べ、得られる最大光出力が大幅に向上する。また、同じ光出力を得る場合、自己発熱が小さいため、より高い温度で動作することが可能となり、高温動作特性が著しく向上する。このような実屈折率導波型構造は、5mW~20mWの比較的小さな光出力で動作する半導体レーザに適用され、低電流の省電力型光ピックアップに応用されるとともに、設計マージンの向上、生産性の向上を生み出すことができた。

##### 【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このようなリッジ型の実屈折率導波型レーザには以下のような問題点があった。

【0011】すなわち、実屈折率導波型レーザでは、複素屈折率導波型レーザと異なり、電流阻止層409によって光が吸収されることがない。このため、活性層407を導波するレーザ光は、電流阻止層409の下側のp型クラッド層408や電流阻止層409への「しみだし」が複素屈折率導波型レーザより大きくなる。このことは、複素屈折率導波型レーザの場合と同じ寸法のリッジで実屈折率導波型レーザを作製した場合、接合面に水平な方向の拡がり角 $\theta_{||}$ が小さくなることを意味する。

【0012】図12は、実屈折率導波型レーザと複素屈折率導波型レーザにおける拡がり角などのデータをまとめた一覧表である。ここでは、n型クラッド層403、p型クラッド層408を構成するInGaAlP層のAl組成、すなわち、組成式 $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_0.5\text{P}$ におけるAl組成 $x$ を $x=0.7$ とし、クラッド層厚を $1.4\sim 1.0\mu\text{m}$ 、リッジ底部の幅 $W_L$ を $4.0\mu\text{m}$ または $4.5\mu\text{m}$ 、pクラッド層平坦分厚さ $h=0.2\mu\text{m}$ とした。そして、この設定値において、接合に対して垂直方向の拡がり角 $\theta_{\perp}$ 、水平方向の

拡がり角 $\theta_{||}$ をシミュレーションで計算した。

【0013】図12を見ると、垂直方向の拡がり角 $\theta_{\perp}$ は、クラッド層厚が同じであれば、レーザ構造によらず同じ値(23度)となっていることが分かる。一方、水平方向の拡がり角は、クラッド層厚を $1.4\mu\text{m}$ 、 $WL=4.5\mu\text{m}$ とした場合、複素屈折率導波型レーザの場合8.2度であるが、実屈折率導波型レーザの場合7.5度と8度未満となっている。

【0014】DVD-R/RW/RAM、CD-R/RW用途の半導体レーザでは、光ディスクの書き込みビットとの光学的結合係数を一定以上得るためには、 $\theta_{||}$ は8度以上が望ましい。さらにWLを小さくして $4.0\mu\text{m}$ とすると8.1度となり、要求レベルに達する。しかしながら、リッジ頂上部の幅 $W_u$ が小さくなるため素子抵抗が増大し、自己発熱の原因となって高温特性が劣化する。また、光ディスクの読取のために高周波重畳による変調が行なわれるが、素子抵抗増大のために良好な変調が行なわれず、光ピックアップへの応用に支障が生ずる。

【0015】図12に表したように、p型クラッド層の層厚が $1.0\mu\text{m}$ 、リッジ底部の幅が $4.0\mu\text{m}$ の場合には、レーザ素子の動作電圧 $V_{op}$ は2.61ボルトであるのに対して、同じリッジ幅でクラッド層の層厚を $1.4\mu\text{m}$ とすると、動作電圧 $V_{op}$ は3.17ボルトまで上昇する。このように素子の動作電圧が高くなり、特に3ボルトを超えると、高周波重畳回路から出力される高周波の振幅を極度に大きく設定することが必要となり、回路電源の容量の増大を招き、事実上、高周波重畳回路を集積回路(IC)化してワンチップ化することは困難となる。このため、市場の要求である光ピックアップのサイズの縮小、電気回路の発熱を低減させてプラスチック化を図るなどの方策が実施できないという、応用上の問題が生じていた。

【0016】ここで、WLを小さくするとリッジ頂上部の幅 $W_u$ も小さくなるのは、後に詳述するように、リッジの形成方法としてウェットエッチングを用いるからである。つまり、所定のエッチャントで特定の面方位が出現するようにメサエッチングしてリッジを形成する。このため、リッジ側面の角度は、結晶方位に依存して決定される。その結果として、WLに連動して $W_u$ も変化することとなる。

【0017】一方、クラッド層の厚さ $T_p$ 、 $T_n$ を薄くすれば、リッジ高さが小さくなるため、同じWLを得るための $W_u$ は大きくすることができる。しかしながら、表1においてクラッド層厚 $1.0\mu\text{m}$ として計算した $\theta_{\perp}$ の値(26度)から明らかなように、クラッド層厚を薄くした場合、 $\theta_{\perp}$ が顕著に増加する。書き込み用光ディスクドライブに用いられる半導体レーザの垂直方向の拡がり角は25度以下であることがのぞましく、これを超えると、光ディスクとの光学的な結合効率が低下し、

応用上大きな問題となる。

【0018】また、クラッド層を薄くしすぎると、活性層を導波するレーザ光の上下クラッド層へのしみだし光の一部がn型GaAs基板、およびp型GaAsコンタクト層にまでしみだして吸収され、表1に示したように、活性層の導波路損失 $\alpha$ が顕著に増加( $5.6\text{cm}^{-1}$ )する。このため、実屈折率導波型レーザのメリットが大幅に減少してしまう。

【0019】高い光出力で安定して光ピックアップを動作させるためには、使用する光出力範囲において動作電流と光出力との関係に「キンク」が発生してはならない。

【0020】図13は、動作電流と光出力との関係にキンクが生じた場合を例示するグラフ図である。同図に表したように、キンクは、動作電流 $I_{op}$ と光出力 $P_o$ との関係を表すプロット上の大きな折れ曲がりであり、キンク点の前後で光ピックアップは安定に動作しなくなる。長期信頼性も勘案すると、キンクが発生する光出力(「キンクレベル」と通称される)は、使用する光出力範囲の外であることはもちろん、できるだけ高いレベルであることが望ましい。

【0021】図14は、キンクが発生する原因を説明するための概念図である。すなわち、同図(a)に表したように、レーザの活性層407に電流が注入されて発光部が形成される。そして、図14(b)に表したように、横モード、すなわち活性層407の接合面に対して平行な方向の光強度分布が、基本モード(0次モード)から1次モードに変化することにより、キンクが発生する。

【0022】MQW活性層を有するリッジ型半導体レーザでは、光出力が低い動作条件において、中央部で最大の強度となる単峰性光強度分布の基本モードに対する利得係数が1次モードあるいはそれ以上のモードの利得係数よりも高く、安定して発振しやすい。このため、一定の光出力までは、基本モードで安定に動作する。

【0023】しかし、光出力が数十mW以上となる高出力条件、あるいは電流100mA以上の高注入電流条件においては、最も多数の電子-正孔対の反転分布が発生していたリッジ中央部では、高い強度の光電界の存在によって、逆に電子-正孔対の反転分布が存在しにくくなる。これを「空間的ホールバーニング」と呼ぶ。また、多数のキャリア注入によって屈折率が低下する「プラズマ効果」が影響して屈折率が低下することも相俟って、基本モードよりも、1次モードをはじめとする、より高次のモードが最大利得を有するようになり、モード変化が発生する。

【0024】このような、横モード変化を低減するため、高光出力、高電流注入の条件においても基本モードと高次のモードとの利得差を維持することが必要になる。その方策の一つとして、実効屈折率差 $\Delta n_{\text{eff}}$ を小

さくすることが考えられる。リッジ内の活性層を導波するレーザ光に対する実効屈折率  $n_{1eff}$  とリッジ外の活性層を導波するレーザ光に対する実効屈折率  $n_{2eff}$  との差を表す実効屈折率差  $\Delta n_{eff} = n_{1eff} - n_{2eff}$  が小さければ小さいほど、基本モードと高次モードの利得差が大きくなるためである。

【0025】嶋原は、このような考えに基づいて、特開平11-233883号公報において、pクラッド層およびnクラッド層の屈折率が活性層から離れるにしたがって減少する屈折率分布を有し、かつ、pクラッド層よりもnクラッド層の屈折率が高いか、あるいはpクラッド層厚よりもnクラッド層厚が厚くなる、活性層に対して非対称なクラッド層構造を有するAlGaAs系半導体レーザを開示した。この構造により、接合面に対して垂直な方向の光強度分布を活性層からnクラッド層へシフトさせることにより、 $\Delta n_{eff}$  を小さくし、キンクレベルを向上させるとしている。しかしながら、この構造は実用上大きな問題があった。

【0026】たとえば、InGaAlP系のクラッド層In<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>0.5</sub>Pの屈折率は、Al組成xによって決定される。屈折率を変化させるためには、レーザ結晶を作製するMOCVD (Metal-Organic Chemical Vapor Deposition) 結晶成長時のAl組成を変化させなければならない。InGaAlPにおけるAl組成は、結晶成長に用いる有機金属ガスであるTMA (Tri-Methyl Aluminium)、TMG (Tri-Methyl Gallium)、TMI (Tri-Methyl Indium)、ホスフィン (PH<sub>3</sub>) 及びそれぞれのプロセスガスの流量比によって決定される。半導体レーザの量産に際して再現性のある結晶成長を行なうためには、MOCVD結晶成長装置でプロセスガスの流量を制御するマスフローメータの設定値は、流量を変える都度、較正を行なう必要がある。特開平11-233883号公報に開示されている構造を実現するためには、要する較正時間と費用が莫大であり、量産製品として実用的に実施できるものとは言い難い。

【0027】さらに、特開平11-233883号公報において開示されている構造は、pクラッド層をリッジ型に形成した後、電流を注入する部分を除いて絶縁膜で覆った、いわゆる「ベアリッジ型」と呼ばれる構造と、リッジ型のPクラッド層の両脇をn型GaAsで覆った複素屈折率型構造である。ベアリッジ型の構造は、pクラッド層が薄い絶縁膜のみで絶縁されているため、物理的に脆弱で、無効リーク電流が発生しやすい。また、複素屈折率型構造は、より高い光出力を得るためのレーザとしては適当でない。

【0028】一方、横モード変化を低減するためのもう一つの方策として、リッジ底部の幅WLを狭くすることが考えられる。リッジ幅を狭くした場合、 $\Delta n_{eff}$ は変化しないが、高次モードの光強度分布がピークとなるリ

ッジ周辺の活性層を伝搬するレーザ光は、クラッド層外へ光が漏れ出して消失する、いわゆる「リーキーモード」に近くなって、高次モードの損失係数が、基本モードの損失係数に比べ、高次モードの損失係数が顕著に増大する。また、電流狭窄幅が減少することから、高次モード発振のため必要なリッジ周辺部分の利得が得られにくくなる。これらの効果によって、高次モードが抑圧される。しかしながら、従来構造では、リッジの狭幅化が行ないにくかった。

【0029】光ディスク用光ピックアップに用いられるリッジ型の半導体レーザでは、主として(100)を主面とするか、あるいは(100)から[110]などの結晶軸方向へ数度から15度傾けた面を主面とするGaAs基板を用いている。リッジ形成後の電流阻止層の形成のため、良好な結晶性を有する成長を行なうには、リッジ両脇の側面も良好な結晶性を有することが必要であり、リッジ両脇のエッチング除去のため、(111)A面が露出するような反応律速性のウェットエッチングが用いられることが多い。このようなエッチングでは、リッジ断面は、図11あるいは図14に表したように台形となり、底部幅WLを狭くすると、それに連動してリッジ上部幅Wuは狭くなる。たとえば、WLを4μmとする場合に、Wuは2μm程度となる場合がある。先に説明したように、このようなWuの減少は、素子抵抗の顕著な増加を招き、動作に必要な印加電圧の増加となつて、光ディスクへの応用上支障が生じる。

【0030】これらの点を考慮して、野村らと、宮下らは、リッジ形成にドライエッチングを用いて、矩形に近い断面形状を有するリッジ形成を行なって高出力レーザを作製したと報告している(それぞれ、第47回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集、29a-N-8、29a-N-7、2000年3月)。しかしながら、化合物半導体のドライエッチングは、面内のエッチング速度ばらつきが大きい。

【0031】ウェットエッチングの場合、リッジ部に比べてエッチング速度が顕著に遅い半導体結晶によるエッチングストップ層を設けることにより、エッチング深さのばらつきを低減することができる。このようなエッチングストップ層は、リッジ直下部にリッジ部の化合物半導体結晶と異なる組成を有する化合物半導体結晶からなる層を設けることにより形成できる。これに対して、ドライエッチングでは、反応律速のエッチングを行ないにくいいため、エッチングストップ層を設けることも困難である。このため、拡がり角やキンクレベルに多大な影響を与えるリッジ寸法を精密に制御することが困難であり、生産性に乏しかった。

【0032】本発明はかかる課題の認識に基づいてなされたものであり、その目的は、素子抵抗を増加させることなく、光拡がり角度やキンク特性、温度特性に優れた半導体レーザ装置及びその製造方法を提供することにあ

る。

【0033】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の半導体レーザ装置は、層厚方向に一定の屈折率を有する第1導電型のクラッド層と、前記第1導電型のクラッド層の上に設けられた活性層と、前記活性層の上に設けられ、層厚方向に一定の屈折率を有し、その上部にレーザ共振方向に対して平行に延設されたリッジを有する、第2導電型のクラッド層と、前記リッジの両脇に設けられた電流阻止層と、を備え、前記電流阻止層により狭窄された電流が前記リッジの上面を介して前記活性層に注入され、前記第1導電型及び第2導電型のクラッド層は、略同一の組成の半導体からなり、前記第1導電型のクラッド層の層厚は、前記第2導電型のクラッド層の前記リッジを含んだ層厚よりも大きいことを特徴とする。上記構成によれば、素子抵抗が低く、高効率で、キンクレベルが高く、かつ、高温動作可能な光ディスク用途に好適な高出力の半導体レーザ装置を実現できる。

【0034】ここで、前記電流阻止層は、前記クラッド層よりもバンドギャップが広く且つ前記クラッド層よりも屈折率が小さい半導体からなるものとすることができる。

【0035】すなわち、実屈折率導波型の構造とすることにより、光の拡がり角を好適にすることができる。

【0036】また、前記第2導電型のクラッド層は、前記リッジの下に設けられた第2のクラッド層と、前記リッジを構成する第3のクラッド層と、からなり、前記第2のクラッド層と前記第3のクラッド層との間に、これらクラッド層とは異なる組成を有する半導体層が挿入されてなるものとすることができる。

【0037】すなわち、エッチングストップ層を設けることにより、リッジを確実且つ容易に形成することができる。

【0038】また、前記電流阻止層と前記リッジの上面の上を覆うように設けられた第2導電型の埋込クラッド層をさらに備え、前記埋込クラッド層は、前記第1導電型のクラッド層と略同一の組成の半導体からなるものとすることができる。

【0039】すなわち、埋込クラッド層を設けることにより、高性能の高出力型レーザを得ることができる。

【0040】また、前記活性層は、少なくとも2種類の半導体層を積層した積層構造を有し、レーザ光が放出される端面付近に亜鉛(Zn)が選択的に導入され前記活性層の前記積層構造が前記端面付近において無秩序化されてなるものとすることができる。

【0041】すなわち、いわゆる窓構造を形成することにより、CODを防いで高出力型のレーザを得ることができる。

【0042】また、前記リッジは、反応律速性のエッチ

ングにより形成されてなるものとすることができる。

【0043】すなわち、エッチング量の制御が容易となり、クラッド層の層厚を精密に制御することができる。

【0044】また、前記第1導電型及び第2導電型のクラッド層は、それぞれInGaAlPからなり、前記第1導電型のクラッド層の層厚と、前記第2導電型のクラッド層の前記リッジを含む層厚と、の合計は、 $2.5\mu\text{m}$ 以上 $3.5\mu\text{m}$ 以下であり、前記第2導電型のクラッド層の前記リッジを含まない層厚は、 $0.2\mu\text{m}$ 以上 $0.3\mu\text{m}$ 以下であるものとするれば、DVD-R、DVD-RW、DVD-RAMなどの書き込み可能な光ディスク用途に好適な $650\text{nm}$ 帯の高出力半導体レーザを実現できる。

【0045】また、前記レーザ共振方向に対して垂直な方向にみた前記リッジの底部の幅は、 $2.5\mu\text{m}$ 以上 $3.5\mu\text{m}$ 以下であるものとするれば、高出力で光の拡がり特性が良好な半導体レーザを容易に得ることができる。

【0046】また、前記活性層は、井戸層と障壁層とを交互に積層した多重量子井戸構造を有し、前記多重量子井戸構造における前記井戸層の層数は、3層以上5層以下であり、それぞれの前記井戸層の層厚は、 $4\text{nm}$ 以上 $7\text{nm}$ 以下であり、 $0\%$ 以上 $2\%$ 以下の圧縮歪みが印加されてなるものとするれば、高効率で高性能を有するDVD-R、DVD-RW、DVD-RAMなどの書き込み可能な光ディスク用途に好適な $650\text{nm}$ 帯の高出力半導体レーザを実現できる。

【0047】また、前記第1導電型及び第2導電型のクラッド層は、それぞれAlGaAsからなり、前記第1導電型のクラッド層の層厚と、前記第2導電型のクラッド層の前記リッジを含む層厚と、の合計は、 $4\mu\text{m}$ 以上 $6\mu\text{m}$ 以下であり、前記リッジの側面の傾斜角は、 $80^\circ$ 以上であり、前記レーザ共振方向に対して垂直な方向にみた前記リッジの底部の幅は、 $2\mu\text{m}$ 以上 $3\mu\text{m}$ 以下であるものとするれば、高信頼性を有し、CD-R/RWなどの光ディスク用途に好適な、 $780\text{nm}$ 帯の半導体レーザを実現できる。

【0048】また、レーザ光の出射側端面に、前記レーザ光に対して $15\%$ 以下の反射率を有する反射膜が設けられ、前記出射側端面とは反対側の端面に、前記レーザ光に対して $90\%$ 以上の反射率を有する反射膜が設けられたものとするれば、高性能の高出力半導体レーザを実現できる。一方、本発明の半導体レーザ装置の製造方法は、層厚方向に一定の屈折率を有する第1導電型の第1のクラッド層を形成する工程と、前記第1導電型のクラッド層の上に活性層を形成する工程と、前記活性層の上に、層厚方向に一定の屈折率を有し前記第1のクラッド層と略同一の組成の半導体からなる第2導電型の第2のクラッド層を形成する工程と、前記第2のクラッド層の上に、前記第2のクラッド層とは異なる組成の半導体か



らなるエッチングストップ層を形成する工程と、前記エッチングストップ層の上に、層厚方向に一定の屈折率を有し前記第2のクラッド層と略同一の組成の第2導電型の半導体からなり、その層厚と前記第2のクラッド層の層厚とを合計した層厚が、前記第1のクラッド層の層厚よりも小さくなるように、第3のクラッド層を形成する工程と、前記第3のクラッド層の上にストライプ状のマスクを形成する工程と、前記マスクにより覆われていない前記第3のクラッド層を反応律速性のウエットエッチング液によりエッチングして、リッジを形成する工程と、前記リッジの両脇に電流阻止層を形成する工程と、を備えたことを特徴とする。

【0049】上記構成によれば、生産性に優れた光ディスク用途の高出力半導体レーザの製造が可能となる。

【0050】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ本発明の実施の形態について説明する。

【0051】（第1の実施の形態）図1は、本発明の実施の形態にかかる半導体レーザ装置の要部を表す一部断面斜視図である。

【0052】また、図2は、その光出射端面付近の断面図であり、図3は、その共振器中央付近の断面図である。すなわち、これらの断面図は、レーザの光放出端面に対して平行な方向に切断した断面構造を表す。

【0053】本実施形態の半導体レーザ装置の要部構造についてまず説明すると、第1導電型の結晶基板102の上に、第1導電型の第1クラッド層103、MQW活性層107、第2導電型の第2クラッド層108、第2導電型のエッチングストップ層109が順次積層され、この上に、第2導電型の第3クラッド層110と第2導電型の通電容易層111がリッジ状に設けられている。そして、このリッジの両側に第1導電型の電流阻止層113が設けられ、これらの上を覆うように、第2導電型のコンタクト層114が設けられている。そして、基板102の裏面には第1導電型のための電極101が設けられ、コンタクト層114の上には第2導電型のための電極115が設けられている。

【0054】本発明では、第1クラッド層103、第2クラッド層108、第3クラッド層110それぞれのAl組成を略一致させて層内で均一とし、かつ第1クラッド層103の厚さ $T_n$ を第2クラッド層108と第3クラッド層110の厚さを足し合わせた $T_p$ よりも大としている。

【0055】このようにすると、垂直方向及び水平方向の光の拡がり角度を好適にし、キンクの発生も抑制し、さらに素子抵抗も低くすることができる。これらの効果については、後に詳述する。

【0056】また同時に、各クラッド層のAl組成を一致させ、かつ、層内で組成を一定にすることにより、従来技術で問題となっていた頻繁なマスフローメータの較

正が不要であり、高い生産性を有している。

【0057】次に、本実施形態の半導体レーザ装置の各部の構成についてさらに詳細に説明する。

【0058】まず、第1導電型の結晶基板102としては、n型GaAs基板を用いることができ、その上に設ける第1クラッド層103としては、n型 $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{0.5}\text{P}$ 層（Al組成 $x=0.7$ ）を用いることができる。

【0059】活性層107としては、一対のアンドープの $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-y}\text{Al}_y)_{0.5}\text{P}$ 層光ガイド層104の間に、アンドープの $\text{InGaP}$ 井戸層105と、アンドープの $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-y}\text{Al}_y)_{0.5}\text{P}$ 障壁層106とを交互に積層したMQW（Multiple QuantumWell）構造を用いることができる。このMQW構造には、例えば0～2%の圧縮ひずみを印加する。このような圧縮歪を導入することにより、活性層の微分利得を増大させ、発振しきい値 $I_{th}$ を低減し、発光効率SE（Slope Efficiency）の増加を図って、より高い光出力が得られるようにするとともに、目的とする発振モードであるTEモードの利得がTMモードの利得よりも大きくし、発振モードの安定化を図ることができる。

【0060】図2及び図3においては、井戸層105を2層としたDQW（Double QuantumWell）構造を表した。高い効率で数10mW以上の高出力が得られる $\text{InGaAlP}$ 系のレーザを作製するためには、井戸層数は2～5個、井戸層の厚さが4nm～7nmの範囲であり、井戸数と井戸層厚を乗じた総膜厚を100nm～300nmの範囲内に設定するのが望ましい。

【0061】また、障壁層106および光ガイド層104のAl組成 $y=0.4\sim0.6$ とすることにより、クラッド層103、108とのバンドギャップ差を維持して、高出力・高温動作時のキャリアオーバフローによる電流リークを低減し、良好な高温・高出力動作を実現するとともに、クラッド層とのバンドギャップ差を大きくしすぎて、バンドギャップ不連続によって、良好なキャリア注入が行なわれない現象の発生を防止している。

【0062】MQW活性層107の上に設ける第2クラッド層108としては、p型 $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{0.5}\text{P}$ を用いることができる。第2クラッド層は、その上に形成するエッチングストップ層とあわせて、リッジ構造脇のクラッド層平坦部を形成し、拡がり角や $\Delta n_{eff}$ に大きな影響を与えるリッジ平坦部高さ $h$ を制御精度を高め、これにより、特性の再現性に優れたレーザ素子を提供できる。第2クラッド層108のAl組成 $x$ も、0.7としている。

【0063】第2クラッド層108の上に設けるエッチングストップ層109としては、p型 $\text{In}_q(\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z)_{1-q}\text{P}$ を用いることができ、その上の第3クラッド層110としては、p型 $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}$

1-XAIX) 0.5Pを用いることができる。第3クラッド層110のA1組成も、第1及び第2クラッド層と同じ $x=0.7$ とする。

【0064】また、リッジの上部に設ける通電容易層111としては、第3クラッド層110とコンタクト層114との中間のバンドギャップを有するInGaPを用いることができる。一方、リッジの両側に設ける電流阻止層113としては、発光波長に対して透明なn型InAlPを用い、コンタクト層114としては、バンドギャップが狭いp型GaAsを用いることができる。

【0065】またさらに、レーザ光が放出される出射側の端面には、レーザ光に対して15%以下の反射率を有する低反射膜120が設けられ、出射側端面とは反対側の端面には、レーザ光に対して90%以上の反射率を有する高反射膜121が設けられている。このようにすれば、レーザ光を高い効率で出射側端面から放出させることができる。

【0066】以上説明した構造において、第1クラッド層103の厚さ $T_n$ を、第2クラッド層108と第3クラッド層110の厚さを足し合わせた厚さ $T_p$ よりも大きくする。このように $T_n > T_p$ とした非対称構造による効果について以下に説明する。

【0067】図4は、半導体レーザ装置における屈折率分布と光強度分布を表す模式図であり、同図(a)は本発明の半導体レーザ装置、同図(b)は比較例として上下のクラッド層厚を同一とした半導体レーザ装置についての屈折率分布及び光強度分布をそれぞれ表す。

【0068】また、図5は、半導体レーザ装置におけるリッジの断面形状を表す模式図であり、同図(a)は本発明の半導体レーザ装置、同図(b)は比較例として上下のクラッド層厚を同一とした半導体レーザ装置についてのリッジ形状をそれぞれ表す。

【0069】まず、図4(b)に表したように、上下クラッド層403、408の厚みを同一にすると、接合面に対して垂直な方向の光強度分布は、活性層407を中心軸とした上下対称の分布となる。

【0070】これに対して、図4(a)に例示したように、本発明においては、上下のクラッド層の層厚を非対称とする。すると、光強度分布は活性層107の近傍において最大となり、p型クラッド層108、110内では急峻に低下し、n型クラッド層103内では緩やかに低下する非対称な分布となる。つまり、上側のクラッド層108、110における光の分布の割合を低減することができる。このため、p型クラッド層108、110の厚さを薄くしても、応用上問題と拡がり角 $\theta_{\perp}$ の増大などの特性変化を生じることなく、また、導波路損 $\alpha$ の増大も招かない。つまり、本発明によれば、図4(a)に表したような上下非対称の分布を形成することにより、実屈折率導波型レーザのメリットも生かしつつ、上側のクラッド層108、110の層厚を薄くすることが

できる。

【0071】このように上側のクラッド層108、110の層厚を薄くすると、素子抵抗を増大することなく、リッジ幅WLを細くすることができる。

【0072】例えば、図5(b)に例示したような上下対称のクラッド層を設けた場合には、図12に関して前述したように、クラッド層403、408の層厚を1.1 $\mu\text{m}$ 以下とすると光の拡がり角度などのレーザ特性が要求を満足しない場合が多い。そして、リッジの形成方法として好適なウエットエッチングを用いる場合には、リッジの側面の傾斜角度は結晶方位に応じて固定されるので、リッジ幅WL2に対してリッジ頂上幅Wu2の関係も固定される。その結果として、適正な範囲の素子抵抗を得るためには、リッジ幅WL2は4.0~4.5 $\mu\text{m}$ が下限であり、これ以下とすることが非常に困難であった。

【0073】これに対して、本発明によれば、図4(a)に表したように実屈折率導波型レーザのメリットも生かしつつ、クラッド層108、110の層厚を薄くすることができる。その結果として、リッジ頂上幅Wu1を小さくすることなく、リッジ底部幅WL1を小さくすることが可能となる。つまり、実用上問題となる素子抵抗を増大することなく、所定の底部リッジ幅WL1を得ることが可能となり、実屈折率導波型半導体レーザのメリットが生かされ、高効率で、良好な高温動作を行なう高出力半導体レーザが実現できる。

【0074】また一方、同じリッジ幅WL1を得る場合には、リッジ頂上幅Wu1を従来(Wu2)より大幅に大きくすることが可能となる。その結果として、素子抵抗を低減し、高温動作特性や高出力特性を改善することができる。

【0075】なお、特開平11-233883号公報においては明らかにされていないが、非対称クラッド層構造においては、光強度分布が非対称となることで、FFP(Far Field Pattern)のピークが若干n側に傾く現象が見られる。しかし、本発明者の試作・検討の結果によれば、実用的な素子パラメータを採用した場合の傾き角度 $\Delta\theta_{\perp}$ は、0.5度以内であり、測定誤差とアセンブリ誤差を考慮すれば、問題ないレベルであることが確認できた。

【0076】図6は、実屈折率導波型レーザにおける光の拡がり角度のデータをまとめた一覧表である。ここでは、リッジ底部幅WL=4.0 $\mu\text{m}$ 、クラッド層の層厚の合計( $T_p+T_n$ )=一定(2.8 $\mu\text{m}$ )として、p型クラッド層の層厚の合計 $T_p$ 、n型クラッド層の層厚 $T_n$ を変化させた場合の拡がり角 $\theta_{\perp}$ と $\theta_{||}$ 、導波路損 $\alpha$ を表す。

【0077】図6に表したように、本発明の非対称クラッド層構造を採用し、n型クラッド層の層厚を1.8 $\mu\text{m}$ 、p型クラッド層の層厚を1.0 $\mu\text{m}$ とし、リッジ底

部幅を $4.0\mu\text{m}$ とした場合の動作電圧 $V_{op}$ は $2.6$ ボルトである。これに対して、従来の対称クラッド構造においてクラッド層の層厚を $1.4\mu\text{m}$ とした場合の動作電圧 $V_{op}$ は、 $3.17$ ボルトである。つまり、本発明の非対称クラッド構造をもちいた場合には、動作電圧を $0.55$ ボルトも下げることができる。このため、十分なマージンを持った高周波重量IC設計が可能となり、光ディスク用途の光ピックアップへの応用に好適な高出力半導体レーザを実現することができる。

【0078】リッジ幅 $WL$ をさらに小さく設定した場合、本発明はより有効なものとなる。 $WL=2.5\mu\text{m}$ ～ $3.5\mu\text{m}$ の範囲において、例えば、 $WL=3.0\mu\text{m}$ と設定しても、 $V_{op}$ は $2.8$ ボルトであり、 $3\mu\text{m}$ を超えない。先の議論から明らかなように、 $WL$ を小さく設定できれば、キンクレベルをさらに高くすることができ、且つ、拡がり角 $\theta_{\perp}$ を大きくすることができ、且つ、拡がり角 $\theta_{\perp}=9$ 度前後となる。これにより、より高い光出力が得られ、且つ、光学的な結合効率がより高い光ディスク用高出力半導体レーザ装置を実現できる。

【0079】 $WL$ が $2.5\mu\text{m}$ より小さくなると、室温ではキンクレベルが向上するが、 $70^{\circ}\text{C}$ 以上の高温動作条件においては、リッジ部で発生する自己発熱により、温度特性が劣化してしまう。また、反応律速性のエッチング液を用いたプロセスの適用も困難となってくる。このため、リッジ幅 $WL$ は、 $2.5\mu\text{m}$ ～ $3.5\mu\text{m}$ の範囲内にあることが望ましい。

【0080】また、図6を見ると、 $T_p=1.0\sim 1.4\mu\text{m}$ の範囲内で、拡がり角 $\theta_{\perp}=23\sim 24$ 度、 $\theta_{\parallel}=8.1$ 度であり、光ディスク書き込み用光源として適した値となっていることが分かる。また、 $T_p=1.0$ としても、導波路損失 $\alpha=3.4\text{cm}^{-1}$ である。この値は複素屈折率導波型レーザの導波路損失 $7\text{cm}^{-1}$ の半分以下であり、低しきい値、高効率という実用性を得ることができる。また、本発明者が行った別の評価によれば、 $T_p+T_n=2.5\sim 3.5\mu\text{m}$ の範囲内で、拡がり角 $\theta_{\perp}=21\sim 24$ 度が得られることが確認されており、それぞれについて本発明が適用できる。

【0081】さらに、本発明の半導体レーザ装置においては、図2、図3に例示したように、凸状のストライプ構造を有する第3クラッド層110のリッジの両脇は、 $\text{InGaAlP}$ からなるクラッド層110よりバンドギャップが大きく、かつ屈折率の低い化合物半導体である $\text{InAlP}$ 電流阻止層113によって覆われている。このように、注入された電流がリッジ部に狭窄され、かつ、屈折率差によって活性層107を導波するレーザ光が接合面に平行な方向に対して閉じ込められるとともに、活性層107を導波するレーザ光が電流阻止層113に吸収されることのない、実屈折率導波型構造が形成

されている。このため、高効率で高出力の光ディスク用半導体レーザが実現できる。

【0082】さらに、本実施形態の半導体レーザでは、図2に例示したように、亜鉛( $\text{Zn}$ )を拡散することにより、チップ端面近傍に拡散領域となる $\text{Zn}$ 拡散領域112を形成している。この $\text{Zn}$ 拡散により、端面近傍において、MQW活性層107の井戸層105と障壁層106とをある程度まで無秩序化し、チップ内部の活性層107に比べてバンドギャップを増加させることができる。このため、チップ端面近傍で活性層のバンドギャップが減少する、いわゆる「バンドギャップ収縮」が防止されて、端面近傍の活性層における光吸収が低減される。その結果として、端面近傍における光吸収と、光吸収によって生じた電子・正孔対が非発光再結合することによって生ずる熱の発生とによって生じられる、不可逆的な端面損傷(COD: Catastrophic Optical Damage)が防止され、キンクレベル以上の光出力によるチップ破壊が生じなくなり、高信頼性を有する高出力レーザが実現できる。

【0083】ところで、前述した具体例においては、 $p$ 型クラッド層108、110のリッジ以外の部分を厚さ $h=0.2\mu\text{m}$ の場合を例示した。しかし、良好な特性を得るためには、厚さ $h$ の設定にも上限、下限が存在する。厚さ $h$ を大きく設定すると、リッジ高さ(= $T_p$  -  $h$ )が低減し、かつ $\Delta n_{eff}$ が小さくなるためキンクレベルが向上するが、 $h$ が大きすぎると、拡がり角 $\theta_{\parallel}$ が7度以下となって、所要の拡がり角に合致しなくなる。良好な高出力特性を有し、所要の拡がり角 $\theta_{\parallel}$ を得るためには、 $h=0.2\sim 0.3\mu\text{m}$ の範囲内であることが求められる。

【0084】これらの設定によって、波長 $650\sim 660\text{nm}$ の短波長帯で、CW出力 $50\text{mW}$ 、パルス出力 $70\text{mW}$ で $70^{\circ}\text{C}$ まで動作可能なDVD-R/RW/RAに好適な $\text{InGaAlP}$ 系半導体レーザを実現できた。

【0085】以上の構造を有する半導体レーザは、以下の手順によって作製される。

【0086】まず、 $n$ 型 $\text{GaAs}$ 基板102としては、(100)を主面とし、[011]方向に5度から15度傾いた方向に光学研磨を行った基板を用い、結晶成長時の自然超格子発生を防止し、 $670\text{nm}$ 以下の短波長でレーザ発振が行なえるようにしている。このような基板102の上に、 $n$ 型クラッド層103を減圧MOCVD法によって結晶成長により形成する。以降、化合物半導体層の形成には同じMOCVD結晶成長装置を用いる。減圧MOCVDを用いることにより、再現性に優れた、良好な結晶成長が可能となる。なお、基板102とクラッド層103との間に $n$ 型 $\text{GaAs}$ あるいは $n$ 型 $\text{GaP}$ によるバッファ層を設け、

取り入れてもよい。

【0087】クラッド層103の上に、光ガイド層104、井戸層105、障壁層106を成長し、井戸層105と障壁層106を交互に複数回成長し、さらに光ガイド層104を成長することによりMQW活性層107を形成する。InGaP活性層は、GaAsにマッチングする組成よりもInの組成をわずかに低減して、InGaP結晶の格子間隔が基板102の格子間隔より0~2%で大きくなるよう調整し、0~2%の圧縮ひずみが印加されるようにする。

【0088】MQW活性層107の上に、第2導電型化合物半導体であるp型In<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>0.5</sub>P第2クラッド層108を形成する。

【0089】第2クラッド層108の上に第2導電型化合物半導体であるp型In<sub>q</sub>(Ga<sub>1-z</sub>Al<sub>z</sub>)<sub>1-q</sub>Pエッチングストップ層109を形成する。エッチングストップ層109は、 $q=0<q<1$ 、 $0\leq z<y$ としてクラッド層108よりAl組成を低くし、かつ、MQW活性層107のバンドギャップより大きくなるような組成を有する。クラッド層108よりAl組成を低くすることにより、リッジを形成するために用いられる反応律速のウェットエッチング液との反応が遅くなるよう設定して、リッジ形成のためのエッチングが自動的にエッチングストップ層109で停止され、精度のよいリッジ形成が行なえるようにするものである。

【0090】また、活性層107よりバンドギャップを大きくすることにより、活性層107を伝搬するレーザ光の光強度分布がエッチングストップ層109までしみた場合に、レーザ光がエッチングストップ層109に吸収されることを防止し、良好なレーザ特性が維持されるようにしている。

【0091】エッチングストップ層109の上に第2導電型であるp型In<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>0.5</sub>P第3クラッド層110を形成する。後程説明するエッチングにより凸状ストライプを形成し、リッジ型クラッド層構造を形成するためのものである。このAl組成は第2クラッド層と同じ略 $x=0.7$ としている。

【0092】第3クラッド層110の上にInGaP通電容易層111を設け、第3クラッド層110とp型GaAsコンタクト層114との間のバンドギャップ不連続を緩和して、低電圧でレーザ発振が行なわれることを可能とし、高温動作を良好なものとしている。

【0093】以上の積層構造の上にGaAsキャップ層を形成した後、MOCVD結晶成長装置から結晶基板を取り出し、素子の端面近傍のみにZnを選択拡散する。Znを選択拡散する方法の一つは、成長した結晶表面全面にSiO<sub>2</sub>などの誘電体膜を形成した後、拡散したい部分のみをフォトリソグラフィー技術を用いて除去し、除去した部分に高濃度のZnを含有するGaAs層を結晶成長し、アニールを実施することによって固相拡散を

行う方法がある。

【0094】あるいは、ZnO<sub>2</sub>など、Znを高濃度に含有する誘電体膜を形成し、フォトリソグラフィー技術によって拡散したい部分のみを残して除去し、アニールによって固相拡散を行なう方法もある。共振器長方向に対するZn拡散領域の長さ（「窓長」とも呼ばれる）は、それぞれの端面に対し、10μm~40μmが適当である。窓長が10μmに達しないと、チップ端面をへき開で形成する際、位置精度が確保されず、窓の効果が現れにくい。一方、窓長が40μmを越えると、窓領域の光吸収が60cm<sup>-1</sup>程度であるため、顕著な損失となって、発光効率の低下や、発振しきい値の増加を招き、光ディスク用途に適さない特性となる。

【0095】Zn拡散領域112の形成後、SiO<sub>2</sub>などの誘電体絶縁膜を形成し、フォトリソグラフィー技術によって、ストライプ状のパターンが残るような形成を行なう。このストライプ以外の部分の第3クラッド層110を反応律速性のエッチング液を用いて除去し、凸状ストライプであるリッジ構造を形成する。エッチングストップ層109によって、エッチングの終始点が決定され、再現性のよいリッジ形成が行なえる。エッチングストップ層109は、そのまま残しておいてもよいが、リッジ脇の部分を経由するリーク電流が懸念される場合には、リッジが形成されてから、拡散律速性のエッチング液で除去してもよい。

【0096】第3クラッド層110のリッジの形成後、もう一度フォトリソグラフィー技術により、リッジ上部表面の誘電体絶縁膜に対してZn拡散を行なった部分の上のみを除去してMOCVD結晶装置で、リッジ脇のエッチングを行なった領域とリッジ上部の誘電体絶縁膜を除去した部分の上に、InAlPの選択結晶成長が行ない、電流阻止層113を形成する。InAlP電流阻止層113は厚すぎると選択成長が困難になり、薄すぎると電流阻止効果がなくなるため、その厚さを0.2~0.8μmの範囲内とするのが望ましい。

【0097】電流阻止層113の成長後、再び結晶基板を取り出し、誘電体絶縁膜をエッチング除去する。さらに、MOCVD結晶装置で、第2導電型化合物半導体であるp型GaAsコンタクト層114を形成し、p側電極115とのオーミック接触が得られるようにする。

【0098】以上の結晶成長を行なった後、蒸着などによってP側にはAuZn/Auなどのp側電極115を形成し、さらにn型GaAs基板を60μm~150μmの厚さとなるよう研磨して、その裏面側にn側電極101を形成する。こうしてウェーハが形成されたら、端面をへき開し、ECRスパッタなどでレーザの出射側端面に20%以下反射率を有する低反射膜、反対側の端面に多層膜を形成することにより、90%以上の反射率を有する高反射膜を形成し、チップ化して、半導体レーザチップとする。以上の工程により、高効率で、良好な高

温動作が可能となる高出力半導体レーザが実現できる。

【0099】（第2の実施の形態）次に、本発明の第2の実施の形態として、端面に窓構造が形成されていない半導体レーザ装置について説明する。

【0100】すなわち、DVD-ROMなどに用いられる、光出力が7mW以上で20mW以下の光ディスク用レーザでは、端面窓は必ずしも必要ではない。従って、第1実施形態に関して説明したZn拡散工程を実施しないことにより、プロセス数を削減でき、安価なレーザを提供できる。

【0101】図7は、このように端面窓構造を用いずに形成したInGaAlP系の半導体レーザ装置を表す一部断面斜視図である。同図については、図1乃至図6に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0102】本実施形態においても、第1実施形態と同様に突屈折率導波型構造と非対称クラッド層構造とを用いて、キンクレベルが生じる光出力を高くし、高効率、低しきい値などの高性能を有するため、駆動回路の発熱を抑制でき、かつ歩留がよく生産性に優れた半導体レーザ装置を実現できる。

【0103】なお、DVD-ROM用の光源としては、クラッド層103、108を構成するInGaAlPのAl組成を0.7前後とすることが望ましい。また、光の拡がり角 $\theta_{\perp} = 25 \sim 32$ 度が要求されるため、これに合わせて、クラッド層の層厚の合計 $T_p + T_n = 1.0 \sim 2.5 \mu\text{m}$ とすることが望ましく、 $T_p + T_n = 1.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$ とすることがさらに望ましい。

【0104】また、活性層107を構成するMQW構造の層厚の合計は100～300nmとし、井戸層の層厚は4～7nmでその層数は3～5層とすることが望ましい。また、p型クラッド層108のリッジ以外の部分の層厚hは、0.08～0.2 $\mu\text{m}$ とすることが望ましい。

【0105】（第3の実施の形態）次に、本発明の第3の実施の形態として、CD-R/RW等の書き型光ディスクドライブに用いられる780nm帯のAlGaAs系高出力半導体レーザに本発明を適用した半導体レーザ装置について説明する。

【0106】図8は、本実施形態の半導体レーザ装置を表す一部断面斜視図である。同図についても、図1乃至図7に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0107】本実施形態においては、クラッド層103、108、110を $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ により形成し、そのAl組成 $x = 0.4 \sim 0.5$ とする。また、電流阻止層113も $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ により形成し、そのAl組成 $y = 0.51 \sim 0.6$ とする。また、MQW活性層107は、 $\text{Al}_u\text{Ga}_{1-u}\text{As}$ 井戸層と、 $\text{Al}_v\text{Ga}_{1-v}\text{As}$ 障壁層とにより形成し、 $\text{Al}_u\text{Ga}$

$1-u\text{As}$ 井戸層のAl組成 $u = 0.1 \sim 0.2$ 、 $\text{Al}_v\text{Ga}_{1-v}\text{As}$ 障壁層のAl組成 $v = 0.2 \sim 0.35$ とする。これらのパラメータ設定により、良好な光閉じ込めが行なわれ、低しきい値・高効率の780nm帯突屈折率導波型半導体レーザが実現できる。

【0108】CD-R/RW用途では、拡がり角 $\theta_{\perp} = 13$ 度～19度、 $\theta_{\parallel} = 7 \sim 9$ 度が求められる。書き込み用光ディスクに適する拡がり角を得るために、トータルのクラッド層厚 $T_p + T_n = 4 \mu\text{m} \sim 6 \mu\text{m}$ の範囲内に設定する。シミュレーションによれば、非対称クラッド層構造で所要の拡がり角 $\theta_{\perp}$ となり、かつ良好な効果が得られるのは、 $T_p = 2 \sim 3 \mu\text{m}$ の範囲である。

【0109】（第4の実施の形態）次に、本発明の第4の実施の形態として、本発明により得られる高出力型の半導体レーザ装置について説明する。

【0110】すなわち、16倍速以上のCD-R/RWに求められる光源の光出力は、パルス駆動で160mWであり、これ以上の光出力のキンクレベルが要求される。所要の拡がり角 $\theta_{\parallel}$ を満たし、かつ、このようなキンクレベルを満足するためには、リッジ底部幅 $WL = 1 \sim 3 \mu\text{m}$ が要求され、望ましくは2 $\mu\text{m}$ 、さらにそれ以下であることが望ましい。

【0111】図9は、このような要求を満たす本発明の半導体レーザ装置を表す断面図である。すなわち、同図は、レーザの光出射端面からみた断面構造を表す。同図についても、図1乃至図8に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0112】本実施形態においては、リッジの幅 $WL = 1 \sim 3 \mu\text{m}$ と極めて幅狭のリッジを形成する。このように狭く、かつ高さが高いリッジ形状を形成するには、リッジ側面の傾斜角度が80度以上とすることが必要である。しかし、このような急傾斜のリッジを反応律速性のエッチングにより形成することは非常に困難である。そこで、拡散律速性のエッチング液を使用したウェットエッチングか、あるいはRIE (Reactive Ion Etching) などのエッチング法を用いることによってリッジを形成する。これらのエッチング方法は、通常のクラッド層構造では、エッチング速度の面内ばらつきが大きく、特性のばらつきが大きいため、歩留が低いという欠点があるが、非対称クラッド層構造と組み合わせることにより、ばらつきが低減され、生産性が高い高出力半導体レーザ構造を提供できる。

【0113】なお、図9は、チップ内部構造のみを表しているが、端面近傍にZn拡散を行なって無秩序化させた窓構造を設けることにより、CODを抑制できる点は第1実施形態と同様である。

【0114】また、本実施形態は、InGaAlP系の高出力レーザにも同様に適用可能であることも言うまでもない。

【0115】（第5の実施の形態）次に、本発明の第5

の実施の形態として、いわゆる「埋込クラッド層構造」の半導体レーザ装置に本発明を適用した具体例について説明する。

【0116】図10は、本実施形態の半導体レーザ装置を表す模式図である。すなわち、同図は、レーザの光射出端面からみた断面構造を表す。同図についても、図1乃至図8に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0117】埋込クラッド層構造は、第3クラッド層110の厚さを、 $0.5\mu\text{m}$ 以上で $1\mu\text{m}$ 以下と比較的薄くしてリッジ形成を行い、電流阻止層113により埋め込んだ後、第2導電型化合物半導体で、第3クラッド層110と同じ組成を有する第4クラッド層117を第3クラッド層110と電流阻止層113の上に形成し、第3クラッド層110と第4クラッド層117の層厚を足し合わせて所要の $T_p$ となるように設定する構造である。

【0118】この構成によれば、反応律速性のウェットエッチングを用いてリッジ形成が可能となり、高性能の高出力半導体レーザの再現性よい作製が可能となる。ただし、MOCVD成長の回数が増えるので、生産性を勘案して、前述した第4実施形態を選択するか、本実施形態を選択するか決定すればよい。

【0119】なお、図10では、チップ内部構造のみを表しているが、端面近傍にZn拡散を行なって無秩序化させた窓構造を設けることにより、CODを抑制できる点は第1実施形態と同様である。また、本実施形態も、InGaAlP系の高出力レーザに適用可能であることも言うまでもない。

【0120】以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。

【0121】例えば、各具体例における半導体レーザ装置の構造は一例に過ぎず、当業者が適宜設計変更して形成した半導体レーザ装置についても、本発明の要旨を含むものである限り、本発明の範囲に包含される。

【0122】具体的には、例えば、クラッド層と活性層との間に光を導波する光ガイド層を設けてもよい。また、その他、半導体レーザ装置の各要素の材料、導電型、不純物濃度、製造方法などに関して当業者が公知の範囲から適宜選択して本発明と同様の作用効果が得られるものも、本発明の範囲に包含される。

#### 【0123】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、素子抵抗の増加を抑制しつつ、光ディスクなどの各種の用途に応じた光出力、光拡がり角、キンクレベル、温度特性などを満たしつつ、生産性も高い半導体レーザ装置を提供でき、産業上のメリットは多大である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態にかかる半導体レーザ装置の要部を表す一部断面斜視図である。

【図2】図1の半導体レーザ装置の光射出端面付近の断面図である。

【図3】図1の半導体レーザ装置の共振器中央付近の断面図である。

【図4】半導体レーザ装置における屈折率分布と光強度分布を表す模式図であり、同図(a)は本発明の半導体レーザ装置、同図(b)は比較例として上下のクラッド層厚を同一とした半導体レーザ装置についての屈折率分布及び光強度分布をそれぞれ表す。

【図5】半導体レーザ装置におけるリッジの断面形状を表す模式図であり、同図(a)は本発明の半導体レーザ装置、同図(b)は比較例として上下のクラッド層厚を同一とした半導体レーザ装置についてのリッジ形状をそれぞれ表す。

【図6】本発明の実屈折率導波型レーザにおける光の拡がり角度のデータをまとめた一覧表である。

【図7】端面窓構造を用いずに形成したInGaAlP系の半導体レーザ装置を表す一部断面斜視図である。

【図8】本発明の第3実施形態の半導体レーザ装置を表す一部断面斜視図である。

【図9】本発明による高出力型の半導体レーザ装置を表す断面図である。

【図10】本発明の第5実施形態の半導体レーザ装置を表す模式図である。

【図11】従来のInGaAlP系のリッジ型実屈折率導波型半導体レーザを表す模式図である。

【図12】実屈折率導波型レーザと複素屈折率導波型レーザにおける拡がり角のデータをまとめた一覧表である。

【図13】動作電流と光出力との関係にキンクが生じた場合を示すグラフ図である。

【図14】キンクが発生する原因を説明するための概念図である。

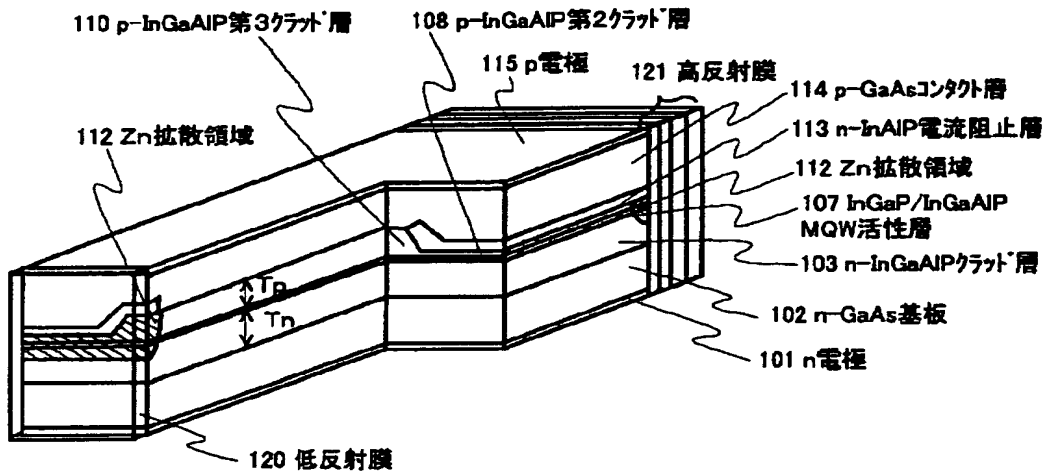
#### 【符号の説明】

- 101 n側電極
- 102 基板
- 103 n型クラッド層
- 104 光ガイド層
- 104 層光ガイド層
- 105 井戸層
- 106 障壁層
- 107 活性層
- 108 p型クラッド層
- 109 エッチングストップ層
- 110 p型クラッド層
- 111 通電容易層
- 112 拡散領域
- 113 電流阻止層
- 114 コンタクト層
- 115 p側電極

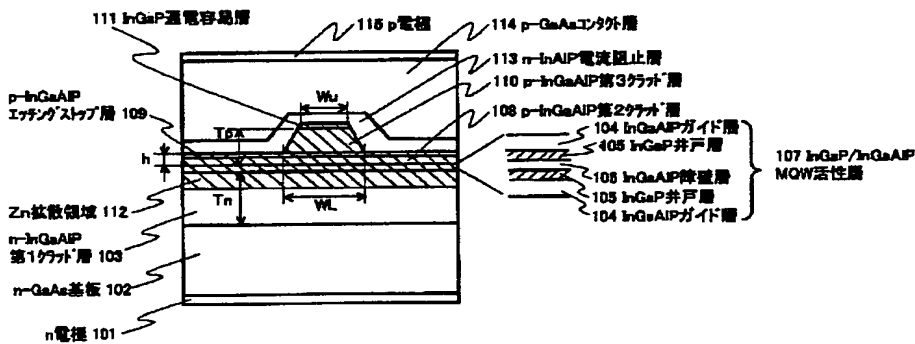
117 埋込クラッド層  
120 低反射膜  
121 高反射膜  
402 基板  
403 n型クラッド層  
407 活性層  
408 p型クラッド層

409 電流阻止層  
410 層  
 $T_n$  n型クラッド層の層厚  
 $T_p$  p型クラッド層の層厚  
 $WL$ 、 $WL1$ 、 $WL2$  リッジ底部幅  
 $Wu$ 、 $Wu1$ 、 $Wu2$  リッジ上部幅  
 $h$  リッジ以外のp型クラッド層平坦部の層厚

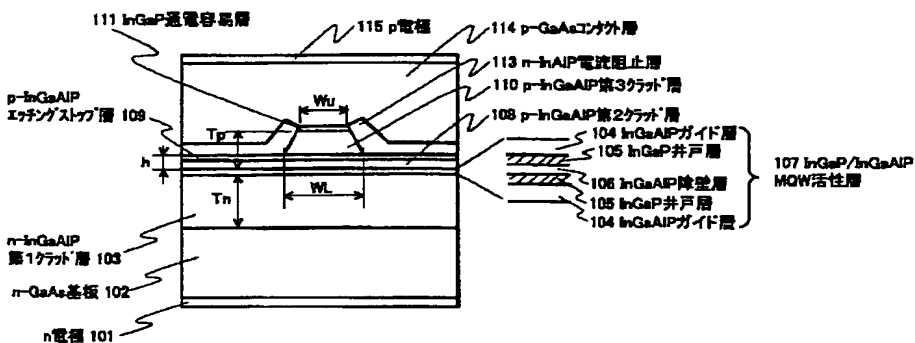
【図1】



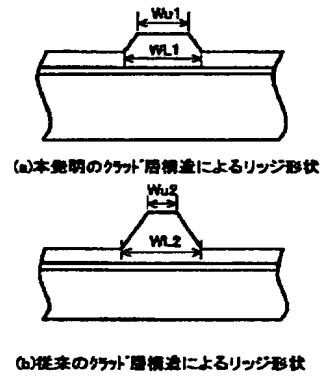
【図2】



【図3】



【図5】



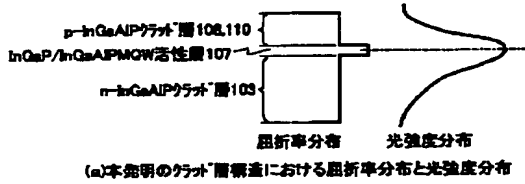
(a)本発明のクラッド層構造によるリッジ形状

(b)従来のクラッド層構造によるリッジ形状

$Wu1 = Wu2$  とすれば  
 $WL1 < WL2$

$WL1 = WL2$  とすれば  
 $Wu1 > Wu2$

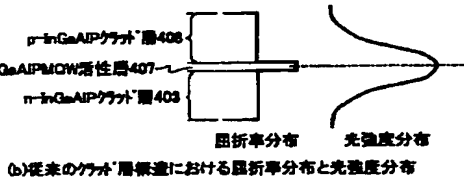
【図4】



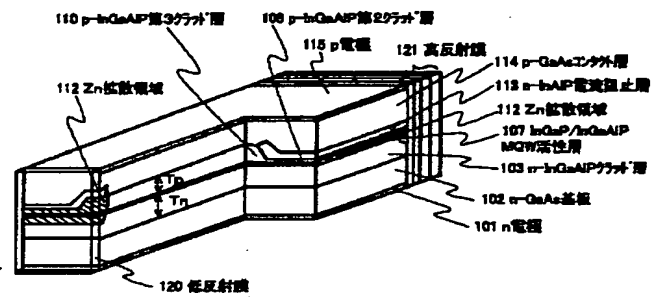
【図6】

| クワッド層Al組成 | nクワッド層厚 ( $\mu\text{m}$ ) | pクワッド層厚 ( $\mu\text{m}$ ) | h ( $\mu\text{m}$ ) | リッパ底幅W ( $\mu\text{m}$ ) | $\theta \perp$ (度) | $\theta \parallel$ (度) | 導波路損失 $\alpha$ (cm $^{-1}$ ) | 動作電圧 $V_{\text{op}}$ (V) |
|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 0.7       | 1.4                       | 1.4                       | 0.2                 | 4.0                      | 23                 | 8.1                    | 0.4                          | 3.17                     |
|           | 1.8                       | 1.2                       |                     |                          | 24                 | 8.1                    | 0.8                          | 2.78                     |
|           | 1.7                       | 1.1                       |                     |                          | 24                 | 8.1                    | 1.7                          | 2.72                     |
|           | 1.8                       | 1                         |                     |                          | 24                 | 8.1                    | 3.4                          | 2.62                     |
|           | 2.0                       | 0.8                       |                     |                          | 25                 | 8.1                    | 13.5                         | 2.41                     |

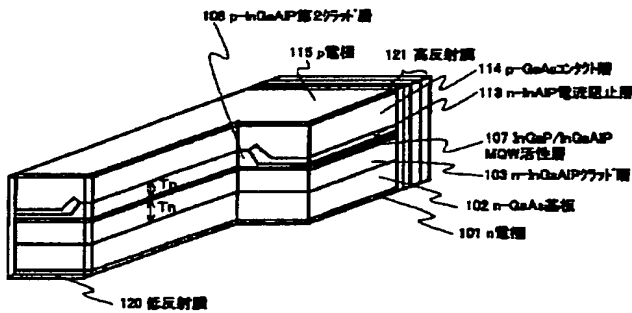
表1. 非対称クワッド層における拡がり角変化のシミュレーション



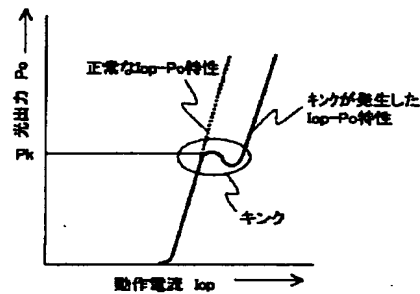
【図8】



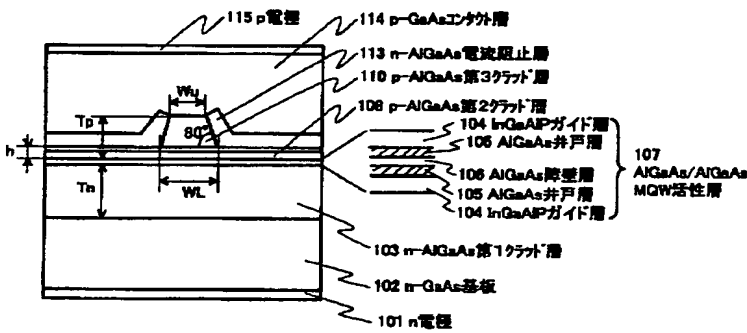
【図7】



【図13】



【図9】



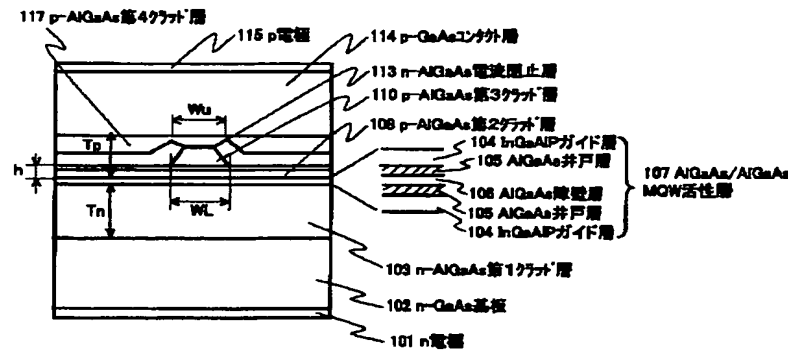
【図12】

| 導波構造<br>複素屈折<br>率導波型 | クワッド層Al組成 | nクワッド層厚 ( $\mu\text{m}$ ) | pクワッド層厚 ( $\mu\text{m}$ ) | h ( $\mu\text{m}$ ) | リッパ底幅W ( $\mu\text{m}$ ) | $\theta \perp$ (度) | $\theta \parallel$ (度) | 導波路損失 $\alpha$ (cm $^{-1}$ ) | 動作電圧 $V_{\text{op}}$ (V) |
|----------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 実屈折率導波型              | 0.7       | 1.4                       | 1.4                       | 0.2                 | 4.5                      | 23                 | 8.2                    | 5.0                          | —                        |
|                      |           |                           |                           |                     | 4.0                      | 23                 | 8.8                    | 7.0                          | —                        |
|                      |           |                           |                           |                     | 4.5                      | 23                 | 7.5                    | 0.4                          | 3.08                     |
|                      |           |                           |                           |                     | 4.0                      | 23                 | 8.1                    | 0.4                          | 3.17                     |
|                      |           |                           |                           |                     | 4.0                      | 25                 | 8.1                    | 2.6                          | 2.71                     |
|                      |           | 1.0                       | 1.0                       |                     | 4.0                      | 26                 | 8.1                    | 5.1                          | 2.51                     |

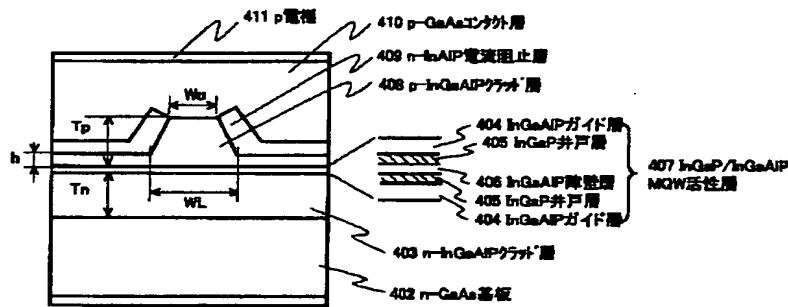
表2 実屈折率導波型レーザと複素屈折率導波型レーザとの拡がり角シミュレーション比較。



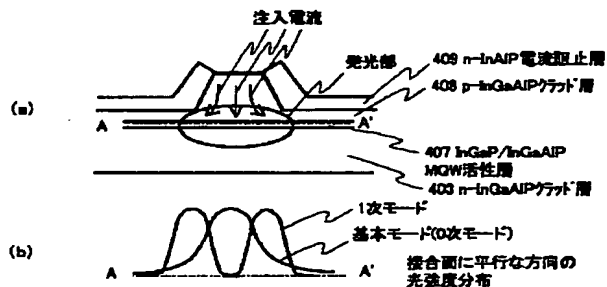
【図10】



【図11】



【図14】



フロントページの続き

(72) 発明者 田中 明  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝マイクロエレクトロニクスセン  
ター内

(72) 発明者 伊藤 義行  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 渡邊 実  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝マイクロエレクトロニクスセン  
ター内

(72) 発明者 奥田 肇  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝マイクロエレクトロニクスセン  
ター内

Fターム(参考) 5F073 AA07 AA13 AA53 AA74 AA83  
AA88 BA04 CA14 CB19 CB20  
DA12 DA15 EA19

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**